

スリット光を用いた顔の3次元形状の認識に関する研究

著者	阿部 享
号	1274
発行年	1990
URL	http://hdl.handle.net/10097/6547

氏 名	阿 部 亨
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成 2 年 9 月 12 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 情報工学専攻
学 位 論 文 題 目	スリット光を用いた顔の 3 次元形状の認識に 関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 木村 正行
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 木村 正行 東北大学教授 竹田 宏 東北大学教授 伊藤 貴康 東北大学助教授 阿曾 弘具

論 文 内 容 要 旨

近年,「機械による視覚の実現」には「コンピュータビジョン」・「マシンビジョン」等の呼び名が与えられ,従来の「画像処理」・「パターン認識」の限界を越えるため,対象に関する知識を積極的に利用する試みがなされている。しかし,現在の「コンピュータビジョン」は,人間の持つ能力に比べれば遥かに見劣りがする。特に,対象を 3 次元的に認識する試みでは,対象の形状を非常に単純なものに制限したり, 2 次元の画像から対象物体の 3 次元形状を再構成するなど,対象を認識する以前の段階で留まっているものが多い。本研究は,より一般的な 3 次元物体を対象とし,より高度な情報処理を機械で実現するための第一歩として,

“任意の方向を向いた人間の顔の 3 次元形状を計測し, 得られた 3 次元データを用いて個人識別を行う”

ことを目標としている。本論文では,このための手法を示し,本手法を用いて実験を行った結果について考察する。

本論文は全体で 6 章から構成されている。論文の前半では,人間の顔の 3 次元形状の計測法について述べる。後半では,計測された顔の 3 次元データを用い個人識別を行う手法を示し,さらに,本手法により識別実験を行った結果に関する検討を行う。以下,各章の概要を述べる。

第 1 章 個人識別の手段として人間の顔を用いる手法は,非常に古くから試みられている。その多くは,正面あるいは真横から撮影した顔の画像を対象としており, 2 次元データから得られる特徴のみを用い, 識別を行おうとしたものであった。これ等の手法では, 顔の向きや顔-カメラ間

の距離など、被験者とカメラとの位置関係が正確に固定されていないと識別が困難であり、さらに、顔の絶対的な大きさや奥行き等、識別において重要な特徴を利用しにくいという欠点もあった。

以上の問題を解決する1つの方法は、人間の顔の絶対的な2次元形状を計測し、3次元データから抽出される特徴を用い識別を行うことである。絶対的な3次元座標を対象とすれば、顔-カメラ間距離の変動について、識別の段階で考慮する必要が無く、さらに顔の絶対的な大きさなどの特徴を識別に利用することができる。また、データから顔の向きを推定し、予めデータを回転することで、データ計測時に被験者の向きが変動しても、その影響を受けにくい識別が可能となる。

第1章は本論文の序論であり、本研究の目的および背景について述べる。

第2章 従来は、顔の3次元形状を計測する作業自体、被験者に長時間一定の姿勢を強制したり、顔にマーキングを施すなど特殊な準備が必要であり、非常に困難な作業であった。この章では、これ等の問題点を解決するために、色符号化スリット光投影法を用い、人間の顔の絶対的な3次元形状を計測する手法を提案する。

色符号化スリット光投影法は、平面コード法と呼ばれる3次元データ計測法の一つで、色で符号化されたスリット光を対象に投影し、それを撮影することで、スリットの投影方向から見て得られる情報と等価な情報を、対象を撮影した観測画像から得る手法である。この方法によれば、対象を撮影した1枚の観測画像から、三角測量に必要な情報をすべて得ることができるため、人間の静止可能時間よりも遥かに短い時間で、対象の撮影が完了できる。また、この手法は対象に特別な姿勢を強制したり、対象表面にマーキングを施す必要が無く、人間の顔の3次元形状を計測するのに適した手法といえる。

色符号化スリット光投影法の計測精度は、投影側のスリット光と画像中のスリット像を如何に正確に対応づけるかに大きく左右される。顔のように表面の色が一様でなく複雑な形状を持った物体を対象とすると、観測画像からスリット像を抽出する際に途切れ・欠落が生じ、正しい対応づけが困難となる。本手法では、対応づけ処理を複数の段階に分け、確実なものから徐々に対応づけを行い、不確かなものに対しては、既に対応づけされているスリット像を参照し対応づけを行う。これにより、スリット像の途切れ・欠落に強い対応づけが可能となり、対象の形状を正確に計測できるようにしている。

第3章 被験者の顔の向きなど、被験者とカメラとの位置関係に制約されない識別を行うためには、入力された3次元データから顔の位置・向きを推定し、予めデータを移動・回転し、データ中の顔を一定の位置・方向に揃える処理が必要となる。

この章では、人間の顔が鼻を中心として左右対称であることを利用し、計測された3次元データから顔の位置・向きを推定し、識別に先立ちデータ中の顔を一定の位置・向きに揃える方法について述べる。

本手法では、まず3次元データ中で曲率が最大となる点を抽出し、それを鼻の頂点とする。鼻の頂点が原点に位置するようにデータを平行移動することで、顔の位置を揃える。次に、鼻の頂

点を中心として球を描き、球内に含まれるデータを用い分散行列を計算して、その固有ベクトルを求める。このようにして得られた3つの固有ベクトルにより、顔の向きを表すことができる。これ等の3つの固有ベクトルのうち、固有値が最大となるベクトルおよび最小となるベクトルによって作られる平面は、顔の左右対称面と一致する。そこで、2つの固有ベクトルにより作られる平面が y - z 平面と一致するようにデータ全体を回転することで、顔の向きを一定の方向に揃えることができる。

第4章 一般に3次元データを用いて識別を行う場合、利用できるデータが膨大であるため、使用する特徴量を適切に選ぶことが重要である。この章では、計測された3次元データから横顔の輪郭線を抽出し、輪郭線を基に特徴量を求め識別を行う手法について述べる。

横顔の輪郭線は、データ全体の内の極一部であるが、狭い範囲に個人差が顕著に現れるため、ここから得られる特徴は識別に適していると考えられる。さらに、この部分の特徴を用いることにより、対象とするデータの量を減らすことができ、識別における処理時間の短縮を実現できる。横顔の輪郭線を用いた識別手法は、2次元データを対象とした場合について Harmon 等により提案されている。彼等の手法では、輪郭線上に特徴点を設定し、特徴点間の距離、及び特徴点を結ぶ直線相互のなす角などを特徴量としており、輪郭線の持つ特徴のうち一部分しか識別に利用していない。

これに対し本手法では、輪郭線を3次元のB-spline曲線で近似し、その際に得られる制御点の座標を特徴量として用いる。この方法により、輪郭線全体の情報を少数の特徴点に圧縮でき、輪郭線全体に含まれる特徴を効率良く識別に利用することが可能となる。

本手法を用い被検者数33人（1人当たり5組のデータ）のデータに対して識別実験を行ったところ、正答率93.3%という結果が得られた。この結果は、2次元データを対象とし識別を行った場合に比べ10%以上、3次元データを対象とし輪郭線上に特徴点を設定し識別を行った場合と比べ約4%（データ数にして6/165）正答率が向上しており、本手法（3次元データを対象とし、B-spline曲線の制御点を特徴点として用いる）の有効性を示すものである。

第5章 第4章で提案した手法は、処理時間の短縮を計ることができる。しかし、与えられたデータの内の一部分（横顔の輪郭線）しか識別に用いていないため、データ中の横顔輪郭線部分にノイズが生じていると、識別に失敗する場合がある。この問題を解決し、より正確な識別を行うための1つの方法として、3次元データに含まれる特徴全体を利用し識別を行うことが考えられる。

従来の手法では、対象物体の表面形状を平面・2次曲面の集合として記述したモデルや、物体表面上における法線ベクトルをガウス球面上に写像し、その空間のヒストグラムで対象をモデル化した拡張ガウス像などを用い、未知の対象と既知のデータとの間で照合を行うものが多かった。これ等従来の手法を、人間の顔のように表面が滑らかで複雑な形状を持つ物体の識別に利用しようとする、以下の問題が生じるため適当でない。

- ・顔の表面形状の微妙な違いを表現することが困難。
- ・顔の表面形状の記述が複雑になり、記述に必要な特徴量の次元数が多くなる。

この章では、顔の表面形状全体から得られる特徴を用い、より高精度の識別を行うための手法

について述べる。本手法では、顔前面の特徴を効率良く識別に利用するために、顔の表面形状を3次のB-spline曲面で最小2乗近似し、その際に得られる制御点の座標を特徴量として用いる。

本手法を用い33人（1人当りの5組のデータ）に対して識別実験を行ったところ、正答率98.8%という結果が得られた。この結果は、横顔輪郭線の特徴のみを識別に用いた第4章の結果に比べ、約5%正答率が向上しており、本手法の有効性が確認された。

第6章 本論文の結論である。本章では、本研究で得られた成果のまとめを行い、さらに、今後の課題について検討する。

本研究において、今後さらに検討すべき課題が少なからず存在する。

まず第1の課題として、本識別手法をより実用的なものにするために、顔の3次元データの計測法を改良する必要がある。色符号化スリット光投影法が被験者に要求する条件は、他の計測手法に比べ緩いものである。しかし、顔にスリット光を投影されるという状態では、被験者に若干の不快感を与える。理想としては、通常の照明の下で普通の写真を撮るような状況が望ましい。また、今回行った識別実験の結果をみると、3次元データ中に欠落やノイズが生じており、それにより識別に失敗している。より高精度の識別を行うためには、データ計測の際に欠落・ノイズが発生しないよう、計測手法を改良する必要がある。

第2の課題は、本識別法の高速化である。今回対象としたデータの数は33人（1人あたりデータは5組）と比較的小規模なものであった。より大規模なデータの集合を対象とする場合、識別の処理速度は重要な評価基準になると考えられる。高速化のための手段として、最も効果的であるのは識別に用いる特徴量の次元数を減らすことである。Kaya, Harmon等が報告しているように、顔の形状に基づいた特徴量は各々相関の高いものが多く、識別精度を落とさずに次元数を圧縮することが可能であると考えられる。このことは、本手法で特徴として用いたB-spline曲線・曲面の制御点についても当てはまるものと思われる。

第3に、本手法の応用範囲を広げるため、

- ・第4章で述べた手法を、より一般点な曲線の認識・識別に応用するための方法
- ・第5章で提案した手法を、対象を人間の顔に限定しない、より一般的な3次元物体の認識・識別に応用するための方法

を開発することも、今後の重要な課題である。これ等を実現するために、

- ・対象とする曲線・3次元物体の何を基準とし、対象の位置・向きを揃えるか？
- ・節点をどのように配置し、対象とする曲線・3次元物体をB-spline曲線・曲面で表現するか？

などについて検討する必要がある。

審 査 結 果 の 要 旨

3次元物体の認識はコンピュータビジョンの重要な課題であり、種々の観点から数多くの研究が行われてきた。しかし、3次元形状の計測と認識に関しては未解決の問題が少なくない。著者は人間の顔の3次元形状を計測し、得られた3次元データを用いて個人識別を高い精度で実現する研究を行った。本論文はその成果を纏めたもので全編6章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の目的及び背景などについて述べている。

第2章では、色符号化スリット光を用いた3次元形状の計測について述べている。この方法では被験者（対象）の姿勢等に厳しい制限を課す必要はないが、その計測精度は撮影されたスリット像を如何に正確に復元するか左右される。この章では、スリット像の途切れや欠落に強いスリット光の復号法を新たに導入し、顔の形状を精度よく計測することを可能としている。

第3章では、人間の顔が鼻を中心として左右対象であることを利用して、計測された3次元データから顔の位置や向きを推定し、識別に先立ちデータで表現された顔を一定の位置及び向きに揃える方法を与えている。これは被験者とカメラとの位置関係の変動に制約されない識別を可能とするもので、興味ある知見である。

第4章では、3次元データから横顔の輪郭線を抽出し、それを3次のB-spline曲線で最小2乗近似する際の制御点を特徴量とする識別手法を与えている。さらに、この手法を従来の2次元データに基づく識別手法と比較し、その有用性を確かめている。

第5章では、計測した3次元データ全体を効率よく識別に利用するために、顔の3次元表面形状の3次のB-spline曲面で最小2乗近似し、その際に得られる制御点を特徴量としている。この手法は横顔輪郭線の特徴量を利用する手法にくらべて、より安定でより精度の高い識別を可能にしている。これは本研究の重要な成果である。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は人間の顔を対象として、その自動認識を可能とする3次元形状の計測及び識別手法を導入し、認識実験に基づいてその有用性を明らかにするなど、コンピュータによる3次元物体の自動認識に有用な知見を加えたもので、情報工学の発展に資するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。